

若 $\Delta H_{ab}$ 小于可允许误差值 $\Delta\delta$ ，则下游具有水平信号，即闸室水位与下游闸室外水位一致；若 $\Delta H_{cd}$ 小于可允许误差值 $\Delta\delta$ ，则上游具有水平信号，即闸室水位与上游闸室外水位一致。

#### 4.3 水位传感器故障判断程序设计

图3为水位传感器故障判断程序设计流程图，具体步骤如下。

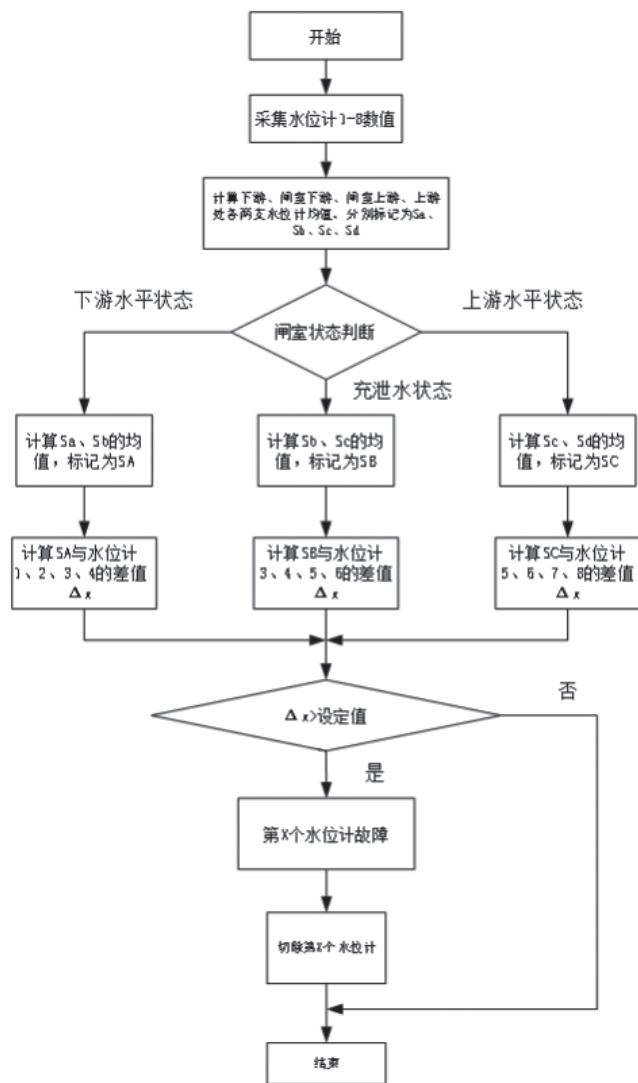


图3 水位传感器故障判断程序流程图

(1) 若 $\Delta H_{ab} < \Delta\delta$ ，表示闸室状态为下游水平，则计算 $S_a$ 与 $S_b$ 的均值，标记为 $S_A$ ，计算水位计1、2、3、4与 $S_A$ 的差值，记为 $\Delta x$ ， $x$ 的范围为1~4；若 $\Delta H_{ab} > \Delta\delta$ 且 $\Delta H_{cd} > \Delta\delta$ ，表示闸室为充泄水状态，则计算 $S_b$ 与 $S_c$ 的均值，标记为 $S_B$ ，计算水位计3、4、5、6与 $S_B$ 的差值，记为 $\Delta x$ ， $x$ 的范围为3~6；若 $\Delta H_{cd} < \Delta\delta$ ，表示闸室为上游水平状态，则计算 $S_c$ 与 $S_d$ 的均值，标

记为 $S_C$ ，计算水位计5、6、7、8与 $S_C$ 的差值，记为 $\Delta x$ ， $x$ 的范围为5~8。

(2) 判断 $\Delta x$ 是否大于给定误差 $\Delta\varepsilon$ ；若 $\Delta x < \Delta\varepsilon$ ，则水位计未故障；若 $\Delta x > \Delta\varepsilon$ ，则说明第 $x$ 水位计故障，并自动切除第 $x$ 水位计（同一监测点切除的水位计数量不能大于2）。

#### 5 结论

本文提出了一种适用于船闸的水位监测系统，该系统具备水位传感器自校准、故障识别和船闸水平信号判断等功能，可大力保障船闸人字门的运行安全，可为船闸的水位监测的建设提供参考。

#### 参考文献：

- [1] 潘诚,熊锦玲,胡志芳.三峡船闸闸室水位检测工艺的优化与应用[J].水运工程,2020,(02):94-97.
- [2] 崔庆,解晓蕾.基于GPRS的超声波水位监测系统的设计[J].山东水利,2016,No.210,(05):10-11.
- [3] 冯凌云,梁彦.抽水蓄能电站引水隧洞水位监测系统的开发与应用[J].水电能源科学,2021,39(03):95-98+102.
- [4] 陈倩,周少鹏,黄隆贵等.基于STM32F的地下水位监测系统的设计[J].科技创新与应用,2016,No.170(22):88.
- [5] 伯冰洋.基于物联网的ARM嵌入式水位监测系统的设计与实现[J].物联网技术,2022,12(07):5-7+11.

# 西江梯级船闸集中运行标准体系与实践研究

易继勇<sup>1</sup>, 郭亚中<sup>2</sup>, 李书阅<sup>2</sup>

(1. 广西西江集团红花二线船闸有限公司, 广西 柳州 545005; 2. 华设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 针对梯级船闸运行不规范导致通航效率不高的问题, 本文在深度分析建设现状和通航特征基础上, 研究梯级船闸通航效率提升的关键与难点, 规范梯级船闸运行及其系统结构与功能、编制标准, 结合西江干线航道梯级船闸进行实例验证, 对比集中运行前后梯级船闸的船舶通过时间。结果表明: 最大船舶过闸时间由原来的 1.42h 缩短到 0.52h, 研究成果已体现在梯级船闸集中运行 DB45/T2717 等地方标准中, 为全国最先发布的地方标准, 对提升内河航道通航能力具有显著作用。

**关键词:** 集中运行; 通航效率; 标准体系; 梯级船闸

中图分类号: U641.7 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2025) 21—0093—03

内河运输具有运能大、占地省、能耗低、环境友好和边际成本低的比较优势, 对于我国“交通强国发展规划纲要、综合立体交通网规划”等作用和意义突出。当前是内河航运比较优势全面显现关键期, 西江流域涉及煤炭、水泥等大宗散货和集装箱运输, 在国家内河通江达海等战略中具有重要地位, 开展梯级船闸的标准化建设意义重大。

新一轮内河航道建设规划中提出“八纵八横”等区域性航道网络布局要求。多流域多水系的航道网络对于梯级船闸的建设提出了更高的要求, 研究流域梯级船闸标准化建设对提高通航效率的作用, 对提升我国内河航道的建设与发展具有重要战略地位, 对于整个内河航运的通航能力和综合运输体系效率也具有重要意义。

## 1 梯级船闸

船闸是内河水运的基础设施, 是连接流域内各地区、各港口之间的重要通道, 在整个内河水运体系中发挥着至关重要的作用。截至目前, 我国已建成长江、黄河等流域梯级船闸 300 余座, 通航里程约占全国通航总里程的三分之一, 为内河水运发展作出了重要贡献<sup>[1-5]</sup>。

在新时代内河航运发展的背景下, 国家及地方政府高度重视内河航道建设工作, “十三五”期间广西共投入 211 亿元用于整治河道、港口、航道等<sup>[6]</sup>。为保障船舶航行安全, 通过改造提升、新建等方式对现有船闸进行升级改造成为重要内容。

## 2 西江梯级船闸

西江作为全国典型的内河, 拥有典型的流域梯级船

闸, 目前 2000 吨级船舶可以通过西江航运干线从南宁直航粤港澳, 是国家规划西南水运出海“一干三通道”的重要内容。加快西江黄金水道的建设, 实现江海联动, 推动实现桂东、桂中和桂西地区经济社会快速协调发展, 形成东联粤港澳、西通云贵、南接东盟的发展格局, 推动国家西部大开发战略<sup>[7]</sup>。

西江黄金水道包括西江干流及主要支流共 14 条河流, 其中西江干流贯穿我国西南地区与中南地区; 西江干流主要支流有浔江、郁江、桂江等, 均是重要的出海通道和物资集散地。由于梯级船闸建设起步晚, 目前已建成的梯级船闸大多存在规模小、设施简陋、技术落后等问题。西江航运干线航道梯级船闸主要包括桂平(黄埠)、大藤峡和桂江 3 个枢纽船闸, 分别是西江干流上游的龙滩、百色、平塘航电枢纽, 西江干流中游的大藤峡和百色, 西江干流下游的桂平、柳州、河池等航电枢纽, 以及西江航运干线与西江下游水道相连接的 5 个梯级枢纽, 西江航运干线梯级船闸的建设在全国极有特色<sup>[6,8-11]</sup>。

针对不同的梯级船闸特点, 按照“统一规划、统一设计、统一标准、统一管理”的原则进行枢纽建筑物标准化设计, 结合西江梯级船闸的建设现状, 编制了与数据标准、运行标准相关的地方标准, 开展西江航运干线梯级船闸集中运行标准研究将是重要的手段。

## 3 西江梯级船闸集中运行标准实践

### 3.1 西江梯级船闸集中运行标准

梯级船闸集中运行标准指在现有船闸的基础上, 通过对现有船闸设施、设备和管理运行标准进行统一规范和提升, 使其达到最大限度地满足船闸通航、过闸的要

求。

梯级船闸集中运行的标准体系如图 1 所示。

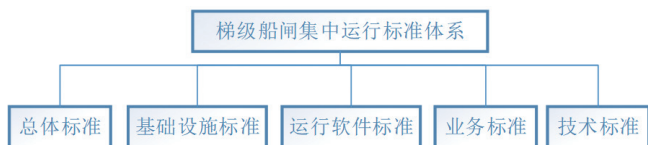


图 1 梯级船闸集中运行标准体系构成

集中控制中心和现地船闸运行总体标准，含运行原则，包括集中、安全、准确和可扩展性。

运行的基础设施建设标准，指的是梯级船闸的集中运行中心、船闸远端和现地的控制设备。

运行的软件建设标准，主要包括软件的功能要求与技术要求。如软件的功能要求包括状态监测、设备控制、巡查管理、应急处置、故障排除和协同辅助等，需对应实现集中监测、远程控制、集中控制系统的功能。

集中运行相关的业务标准，应急业务相关的预案、处置、上报等业务流程；巡查相关的方式、频次、内容及巡查过程记录和报告等。

运行的技术标准，包含数据、网络、安全等内容。

对应上述标准体系，西江梯级船闸的表现有如下特征：

(1) 梯级船闸船舶运行难度大。受上游梯级船闸通航效率不高的影响，下游航道通航条件会变差，导致船舶在下泄流段掉头困难，掉头位置不固定，严重影响船舶安全通过。

(2) 梯级船闸上下游通航条件存在差别，集中管理难度大。上下游通航条件存在差别，船舶正常运行并不流畅，若船闸上下游航道等级相差过大，船舶通航时间和成本不一，甚至影响航行安全。

(3) 梯级船闸水位变化更大，运行控制难度大。梯级船闸不同梯次的控制协同难度大，梯级船闸上下游的水位差对船舶通航影响较大。

(4) 梯级船闸航道等级变化对船舶型号影响大。航道弯曲狭窄、水流条件差等因素会对大型船舶通行产生较大影响，从而影响大型船舶运行。

### 3.2 运行系统标准化

以西江梯级船闸集中运行标准的实践为例，重点介绍运行系统标准与控制软件标准的实践。

系统由调度指挥中心、船闸控制系统、GIS 地理信息系统、视频监控系統、船舶过闸信息管理系统、决策

支持系统等子系统组成。调度指挥中心作为整个系统的核心，为用户提供一套统一的信息化平台，是实现整个梯级船闸运行调度的基础平台。船闸控制系统主要负责对船舶过闸行为进行实时监控，并对过闸船舶的通过能力进行计算分析。调度指挥中心对船闸运行情况进行监控，包括监控调度过程中各相关要素的状态，并根据监控结果制定出相应的调度方案。GIS 地理信息系统主要利用计算机技术将船闸基础信息、运行管理数据和历史数据进行综合处理和分析，为实现船舶调度精细化管理提供技术支持。决策支持系统是整个系统的辅助决策平台，提供对船舶过闸行为进行智能分析、模拟仿真、预测决策等服务。船闸控制系统根据 GIS 地理信息系统提供的数据，自动分析出船舶在梯级船闸上的运行状态，并对过闸船舶进行调度安排。

通过对船闸运行状态的实时监控和数据分析，可以为管理部门制定合理的调度方案提供有力依据。例如，在水位过高或过低时及时做出响应，在船舶流量过大时及时进行疏导等。同时，也可以通过调度指挥中心对梯级船闸运行状态进行实时监控与分析，对船闸运行管理进行科学决策。此外，该系统还可以为船闸管理部门提供船舶安全监控与预警服务、应急处置服务等。

### 3.3 控制软件标准化

船闸的控制主要由集中控制层进行。监控中心通常设在一线船闸下左闸首机房，与一线船闸监控中心合并设置。

远程监视系统的组态软件和各个操作屏幕的样式尽可能地与原来的船闸监测系统相吻合，它的基本操作界面如图 2 所示。

船闸控制管理模式主要分为三个层次：现地设备层、现地分散控制层和集中控制层。现地设备层包括船闸上、下闸首机房内外的机电设备，如电动机、液压泵站、水位计、闸/阀门开度仪、限位开关、交通信号灯和室外照明灯等。现地分散控制层包括船闸上、下闸首机房内的控制和显示设备，如 PLC 及远程 RIO、现地触摸屏和电机控制柜。该层主要用于船闸闸首机房监控设备的调试和维护，以及在船闸监控中心设备或控制系统网络故障时实施现地分散控制操作闸、阀门，确保船闸运行安全畅通。集中控制层由船闸监控中心监控主机、数据库服务器和打印机等组成，用于集中控制和协调管理船闸。它还负责管理船闸的运行情况、控制操作情况



图2 长洲水利监控系统软件界面

和故障情况的数据存储,并生成日、月、年报表。同时,相关报表也将及时通过网络系统上传给上级管理部门。

通过梯级船闸软件标准化建设后,上游航道通航条件得到明显改善,上下游航道最大船舶过闸时间由原来的1.42h缩短到0.52h。上游航道通航条件得到明显改善,有利于上游船舶的通过。

#### 4 结论

建立梯级船闸集中运行的标准体系,开展西江船闸控制管理的标准化建设,并发布两项地方标准<sup>[10, 11]</sup>,奠定了西江梯级船闸集中运行提升通行效率的基础。通过西江航运干线航道开展梯级船闸标准化建设前后通航效率对比研究,在提升梯级船闸通过效率的同时,梯级船闸标准化建设对提升内河航道通航能力具有显著作用。梯级船闸标准化建设后,可以实现对上、下游航道统一管理和调度,在提升上下游航道通航条件的同时,提高了上下游航运设施的利用率和通航效率。

参考文献:

[1] 穆森,吴志龙.界牌枢纽船闸引航道优化设计[J].水运工程,2020,No.577(12):141-146+171.  
[2] 程军.临淮岗船闸通航缓慢原因及对策[J].江淮水利科

技,2019,No.81(03):14-15.

[3] 李国伟.船闸通航安全分析及过闸能力的提升方法[J].中国科学探险,2022,No.193(05):108-111.  
[4] 潘卫凯.金宝航线三河船闸通航安全分析及过闸能力提升措施[J].江苏水利,2021,No.293(05):66-68+72.  
[5] 程升鹏,阮荣斌,王锐锋.提高三峡船闸过闸效率的通航组织模式[J].水运工程,2020,No.566(02):57-61.  
[6] 华设设计集团股份有限公司.广西西江干线贵港航运枢纽二线船闸(闸室结构)设计说明书[R].2020.  
[7] 李敏.西江流域梯级船闸运行标准化建设对通航安全和效率的影响[C]//中国标准化协会.第十八届中国标准化论坛论文集.《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司,2021:3.  
[8] 张向东.具有拓展性的流域性航区船闸标准化管理和多闸联动运行及监管模式探索[J].中国水运,2022,No.732(09):113-115.  
[9] 程雪松,范洪浩,杜欢等.钱塘江中上游船闸运营管理模式研究[J].中国水运(下半月),2019,19(07):29-30+43.  
[10] DB45/T2665-2023,船闸集中控制系统数据结构设计规范[S].  
[11] DB45/T2717-2023,多梯级船闸集中运行技术规范[S].